

Simulació de sistemes de cues G/G/C/K amb OMNeT++

Anàlisi i Dimensionat de Xarxes

Grau en Enginyeria Telemàtica

Anna Agustí
José Ramón Piney

Departament d'Enginyeria Telemàtica
Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels
Universitat Politècnica de Catalunya

CONTINGUTS

1	Introducció	3
1.1	Model del sistema	3
1.2	Notació de Kendall	3
2	Llibreria queueinglib	4
3	Creació del projecte	5
4	Definició de la xarxa	6
4.1	Fitxer ggck.ned.....	6
4.2	Fitxer omnetpp.ini.....	7
5	Execució de la simulació	7
6	Anàlisi de resultats	10
7	Conclusions	12

1 INTRODUCCIÓ

Aquest document és un breu tutorial per familiaritzar-se amb el mòdul desenvolupat al simulador OMNeT++ per simular sistemes de cues G/G/C/K.

1.1 MODEL DEL SISTEMA

El primer pas per estudiar un sistema és modelar-lo, identificant-ne els seus elements i caracteritzant-los. Els elements d'un sistema bàsic de cues són els que es representen a la figura següent:

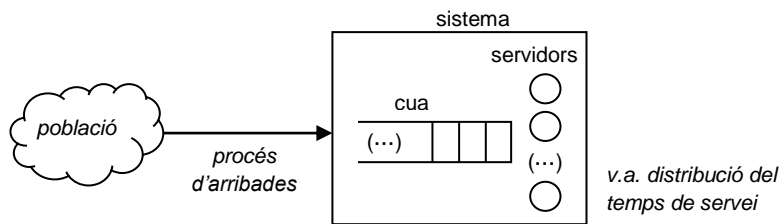


Figura 1. Model d'un sistema de cues bàsic

En aquest model, des de la **població** (que modela el comportament dels usuaris) es generen peticions de servei sobre el sistema seguint una determinada distribució que cal caracteritzar matemàticament (**procés d'arribades**). El sistema el componen els **servidors** i la **cua**. Els servidors són els elements actius del sistema, l'objectiu dels quals és atendre les peticions dels usuaris. El temps de servei de cada petició ve determinat per la **distribució del temps de servei** (que cal caracteritzar matemàticament). Quan una petició no pot ser atesa per cap servidor li poden passar dues coses: o bé la petició es perd (abandona el sistema sense haver pogut rebre servei) o bé s'espera a que s'alliberi un servidor que la pugui atendre. L'espera de les peticions es realitza a la **cua**. L'ordre amb el que s'atenen les peticions en espera a la cua depèn del criteri que segueixi el sistema (i cal definir-ho establint la disciplina de cues del sistema). La disciplina de cues més simple és la **fifo** (*first-in-first-out*).

Per exemple, es podria aplicar un model de cues per caracteritzar el temps d'espera en un servei telefònic d'atenció a l'usuari. En aquest cas, els operadors es podrien modelar com els servidors del sistema. El temps de servei vindria caracteritzat per la durada de les consultes telefòniques. Com que els usuaris del servei són mantinguts en espera quan tots els operadors estan treballant, el sistema tindria cua. El nombre de posicions de cua quedaria determinat pel nombre de línies telefòniques d'accés al servei. El procés d'arribades caldria caracteritzar-lo en funció del comportament dels usuaris del sistema (és a dir, dels clients que truquen per realitzar consultes).

1.2 NOTACIÓ DE KENDALL

La notació de Kendall permet especificar els elements d'un model de cues de forma compacta. El format que segueix és el següent:

A/B/C/K/N

on cada posició representa el següent:

- A. Distribució del temps entre arribades.
- B. Distribució del temps de servei.
- C. Número de servidors del sistema.
- K. Capacitat total del sistema (elements que caben al sistema comptant els servidors i les posicions de cua).
- N. Usuaris de la població.

Per exemple, el sistema M/M/2/4 és un sistema en el qual la distribució del temps entre arribades és markoviana, la distribució del temps de servei és markoviana, hi ha 2 servidors al sistema, hi ha cua finita de 2 posicions (perquè en total caben 4 elements al sistema) i la població és infinita.

El sistema M/M/C/C és un sistema de pèrdua pur i rep el nom de sistema ErlangB. En aquest sistema la probabilitat de bloqueig (probabilitat que tots els servidors estiguin ocupats) coincideix amb la probabilitat de pèrdua i aquesta probabilitat ve caracteritzada per la funció ErlangB (que depèn del número de servidors i del tràfic ofert al sistema). El sistema M/M/C és un sistema d'espera pur i rep el nom de sistema ErlangC. En aquest sistema la probabilitat de bloqueig coincideix amb la probabilitat de demora i aquesta probabilitat ve caracteritzada per la funció ErlangC (que depèn del número de servidors i del tràfic ofert al sistema).

2 LLIBRERIA QUEUEINGLIB

El sistema G/G/C/K que es planteja en aquest model està basat en blocs de la llibreria Queueinglib. Queueinglib és el successor dels paquets Queue, Queueing i Fifo de versions anteriors de l'OMNeT++ i conté diversos blocs bàsics que es poden utilitzar per a construir xarxes més complexes relacionades amb la teoria de cues.

Per a l'escenari que es proposa, s'han modificat les funcions que realitzen els mòduls `Server` i `Queue` de la llibreria, desenvolupant dos mòduls simples (`ServerIndiv` i `QueueNoServers`), i un mòdul compost (`QueueAndServers_modified`) que els combina.

Executeu l'IDE de l'OMNeT++ i obriu el projecte **Queueinglib** per tenir accés als fitxers de la llibreria des de l'entorn que proporciona l'Eclipse. Per obrir el projecte, seleccionant la carpeta corresponent al *Project Explorer*, desplegueu el menú d'opcions amb el botó de la dreta del ratolí i seleccioneu l'opció *Open Project*.



Figura 2. Pantalles d'arrancada de l'IDE d'OMNeT++ 4.1

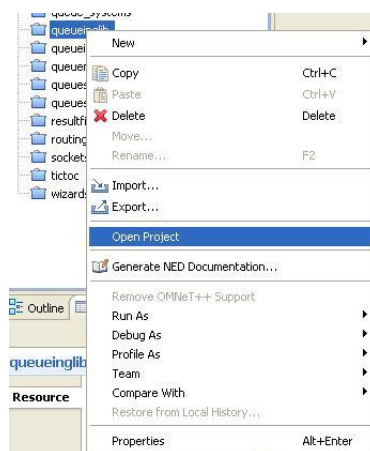


Figura 3. Obertura d'un projecte des de l'IDE

Copieu els fitxers de la carpeta **queueinglib** de l'Atenea a la carpeta **queueinglib** de l'OMNeT++.

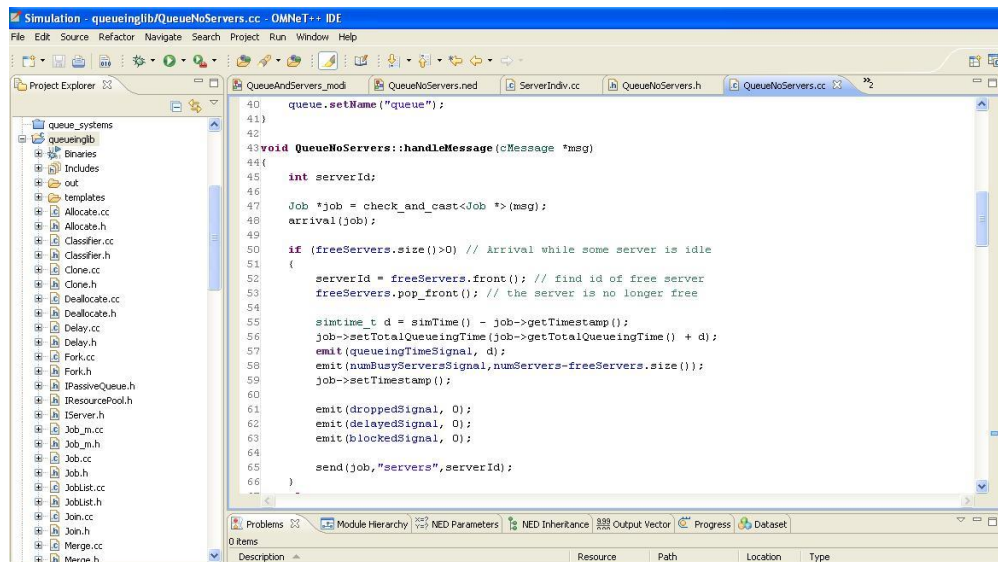


Figura 4. Visualització del contingut dels fitxers

3 CREACIÓ DEL PROJECTE

Per tal de definir l'escenari de simulació, cal crear un projecte (*File* → *New* → *OMNeT++ Project*).

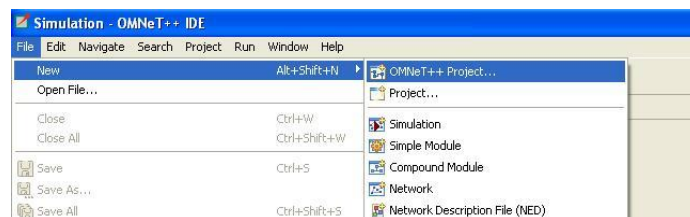


Figura 5. Creació d'un projecte

- Al menú **New OMNeT++ Project** doneu nom al projecte (per exemple, **queue_systems**) i cliqueu **Next**.
- Al menú **Initial Contents** seleccioneu l'opció **Empty project** i cliqueu **Next**.
- Al menú **C++ Project Type** deixeu les opcions per defecte i cliqueu **Next**.
- Al menú **Select Configurations** seleccioneu l'opció **Advanced Settings**. Marqueu l'opció **Project References** i seleccioneu la llibreria **queueinglib**. Cliqueu **OK** i finalment cliqueu **Finish**.

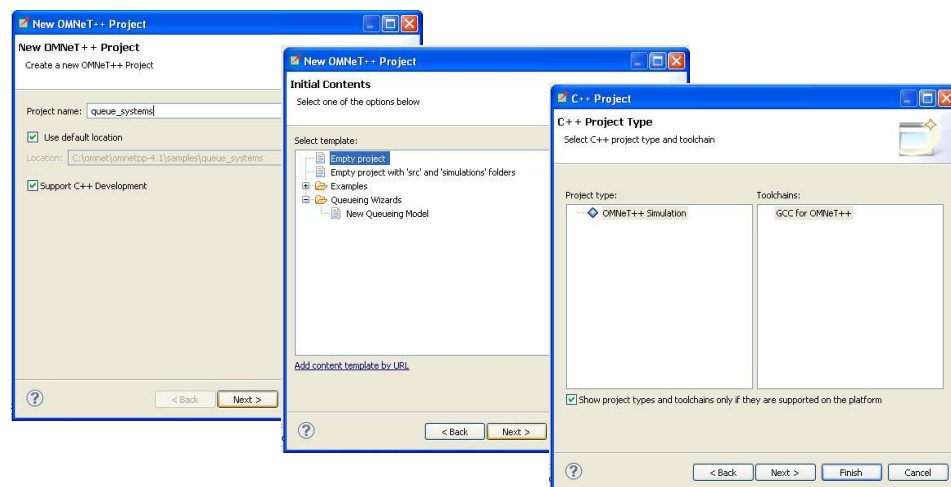


Figura 6. Wizard de creació del projecte (I)

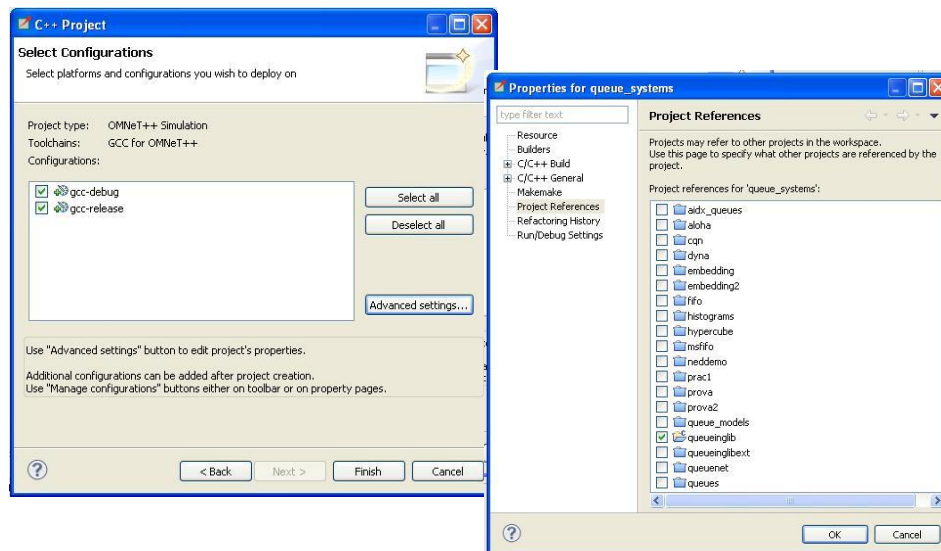


Figura 7. Wizard de creació del projecte (II)

4 DEFINICIÓ DE LA XARXA

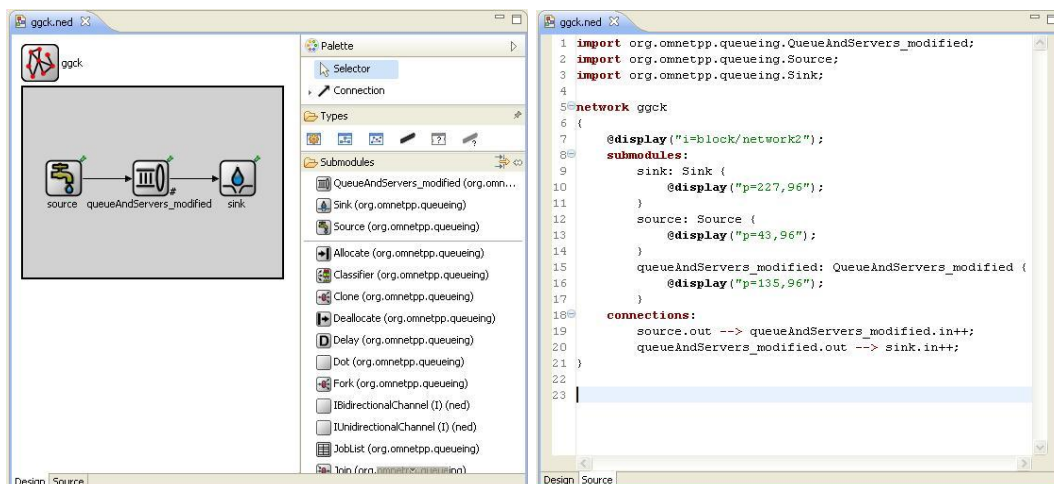
Al crear el nou projecte, us apareix la seva carpeta al *Project Explorer*. Copieu els fitxers `ggck.ned` i `omnetpp.ini` a la carpeta del projecte



Figura 8. Continguts de la carpeta del projecte creat

4.1 FITXER GGCK.NED

El fitxer `ggck.ned` conté la definició de la xarxa en llenguatge NED. Fent doble clic al fitxer, podeu comprovar el seu contingut en format gràfic (*Design*) i en format text (*Source*).

Figura 9. Fitxer `ggck.ned`

La xarxa `ggck` definida al fitxer `ggck.ned` està composta de dos mòduls simples (`Source` i `Sink`) i un mòdul compost (`QueueAndServers_modified`). La sortida del mòdul `Source` està connectada a l'entrada del mòdul `QueueAndServers_modified`; i la sortida del mòdul `QueueAndServers_modified` està connectada a l'entrada del mòdul `Sink`.

4.2 FITXER OMNETPP.INI

El fitxer `omnetpp.ini` conté els paràmetres de configuració dels escenaris de simulació.

En aquest cas, es defineixen quatre paràmetres a la secció `[General]` (que afecten a totes les possibles seccions que contingui el fitxer). En aquest cas, aquests quatre paràmetres permeten habilitar l'opció **express mode** en la consola **cmdenv** (`cmdenv-express-mode = true`), definir els noms dels fitxers d'estadístiques i fixar el temps màxim de simulació a 9200000s (`sim-time-limit = 9200000s`).

En aquest exemple, a més, es defineix una secció `GGCK` on s'especifica que la xarxa a simular és la que té per nom `ggck` (`network = ggck`), s'estableix una única execució de la simulació (`repeat = 1`) i es fixa un període transitori de 20000 segons (`warmup-period = 20000s`). Els paràmetres dels mòduls de la xarxa que es configuren en aquest fitxer són:

- `*.source.interArrivalTime = exponential(2s)`. Temps entre generació de missatges a la font (que es configura amb distribució exponencial, de promig 2 segons).
- `*.queueAndServers_modified.capacity = 4`. Capacitat del sistema, és a dir, posicions de cua + número de servidors (amb valor 4).
- `*.queueAndServers_modified.numServers = 2`. Número de servidors (que es fixa a 2 servidors).
- `*.queueAndServers_modified.**.serviceTime = exponential(3s)`. Temps de servei dels servidors (que es configura amb distribució exponencial, de promig 3 segons).

5 EXECUCIÓ DE LA SIMULACIÓ

Abans d'executar la simulació per primera vegada, cal crear l'executable del projecte. Per fer-ho, només cal seleccionar el projecte al *Project Explorer*, obrir el menú corresponent amb el botó de la dreta del ratolí i seleccionar l'opció *Build Project*.

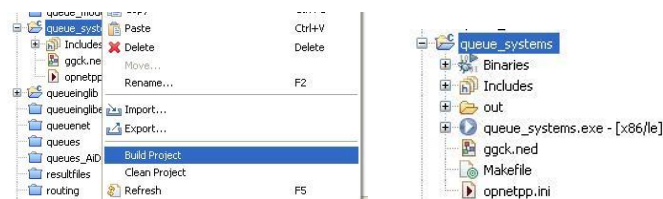


Figura 10. Creació de l'executable del projecte

L'IDE d'OMNeT++ fa possible executar simulacions des del propi entorn integrat. Es pot executar una simulació com una aplicació C/C++ convencional i realitzar el *debugging* del codi. Es pot executar com una aplicació autònoma (utilitzant la consola Tkenv o Cmdenv). O bé es pot programar un compendi de simulacions on cada execució difereix en els paràmetres dels mòduls o en les llavors dels generadors de números aleatoris que utilitza.

Per començar, cliqueu a la icona *Run As* i seleccioneu l'opció *OMNeT++ Simulation* → *OK*. Això generarà un configuració d'execució per defecte del projecte que podreu modificar després (tal i com us alerta en el missatge informatiu corresponent).

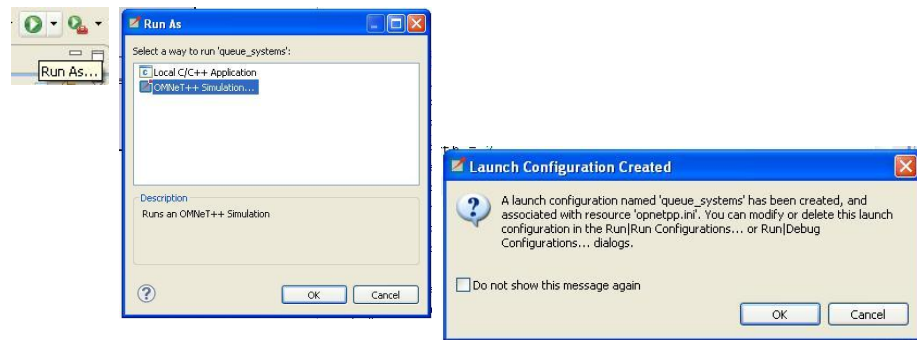


Figura 11. Execució de la simulació

Per defecte, la consola que s'utilitza és la **Tkenv**, que proporciona un entorn gràfic força útil per tal de verificar el funcionament del sistema a simular.

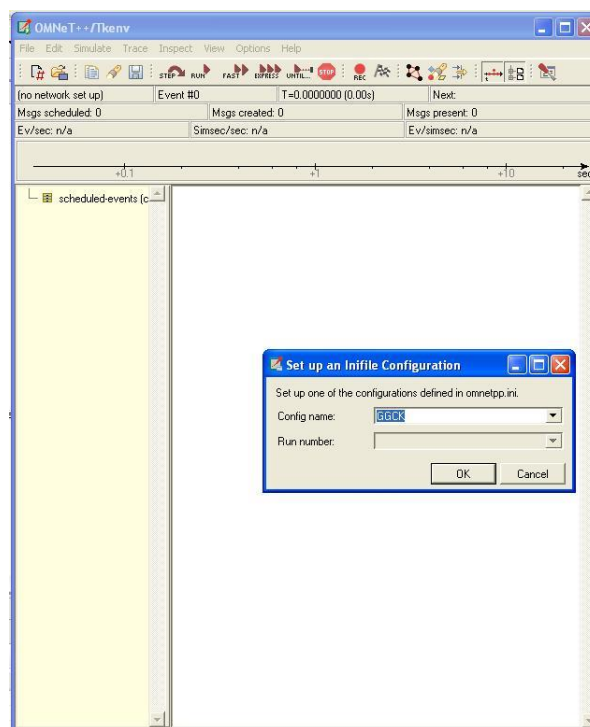


Figura 12. Execució de la simulació utilitzant la interfície de comandes Tkenv (I)

Com que el fitxer `omnetpp.ini` que s'està utilitzant conté més d'una secció, apareix una pantalla de *Set up an Inifile Configuration*. Trieu l'opció `GGCK` i cliqueu `OK`.

La interfície Tkenv mostra els mòduls que componen el model (part esquerra de la figura amb fons groc) amb els seus paràmetres, accessos i submòduls, així com la llista d'esdeveniments futurs (FES). També mostra gràficament els mòduls que componen la xarxa (finestra externa amb fons verd). Fent doble clic sobre un mòdul compost, s'obra una nova finestra que mostra els submòduls que el componen. Fent doble clic sobre un mòdul simple apareixen les característiques particulars del mòdul. A més, la interfície Tkenv mostra la sortida per consola que produeix l'execució de la simulació (part dreta de la figura amb fons blanc).

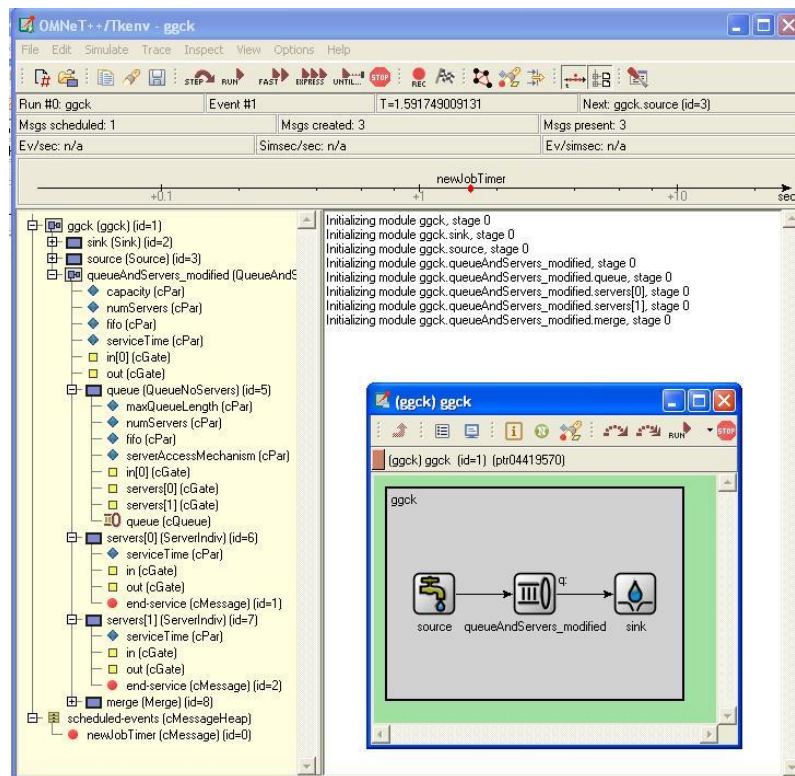


Figura 13. Execució de la simulació utilitzant la interfície de comandes Tkenv (II)

Utilitzant l'opció d'execució pas a pas (STEP) que ofereix la consola, es pot anar observant esdeveniment a esdeveniment el que va succeint durant la simulació (tal i com s'observa a la figura 13). Executeu uns quants passos de la simulació i aneu observant la informació que es representa a les diferents finestres.

L'execució gràfica pas a pas permet verificar el funcionament del sistema. No obstant, per poder accelerar el procés i finalitzar la simulació més de pressa es poden utilitzar les opcions RUN, FAST i EXPRESS del menú.



Figura 14. Comandes per seleccionar la velocitat de la simulació

Cliqueu l'opció EXPRESS per finalitzar la simulació. Si la simulació finalitza amb èxit apareix un missatge de confirmació.

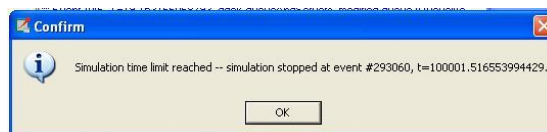


Figura 15. Missatge de confirmació que la simulació s'ha executat amb èxit

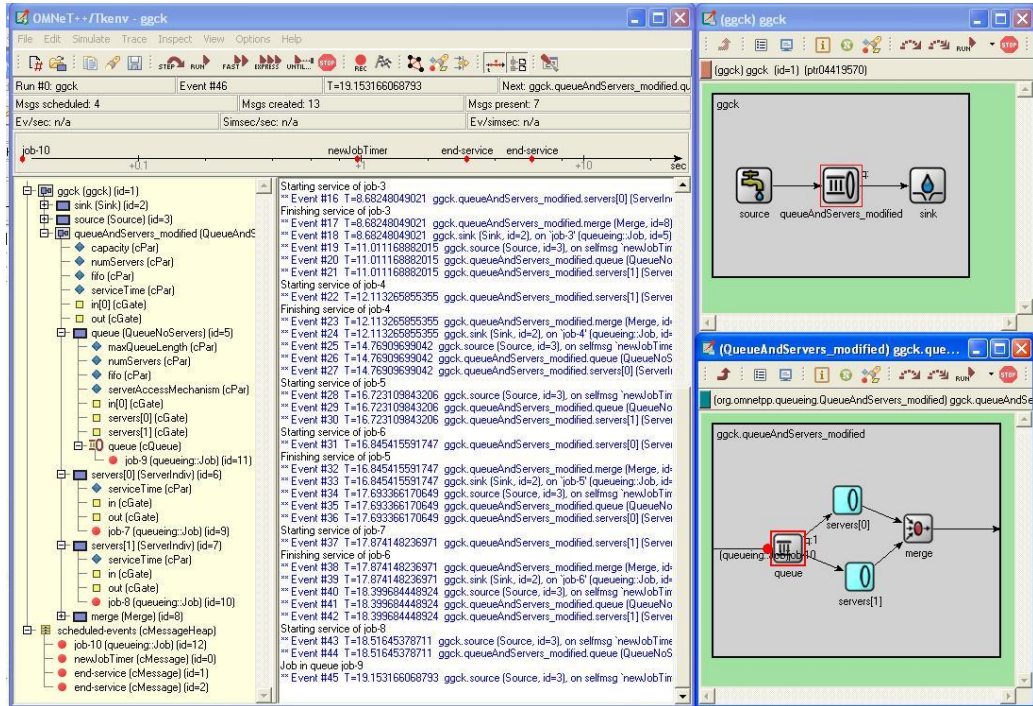


Figura 16. Execució de la simulació utilitzant la interfície de comandes Tkenv (III)

Si la simulació finalitza correctament, es creen els fitxers de resultats a la carpeta **results** del projecte (amb els noms especificats al fitxer `omnetpp.ini`).

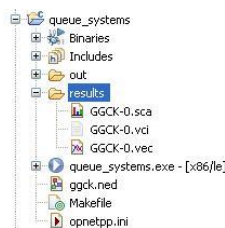


Figura 17. Creació dels fitxers de resultats

Si la simulació finalitza correctament, es creen els fitxers de resultats a la carpeta **results** del projecte (amb els noms especificats al fitxer `omnetpp.ini`).

Com a alternativa a la interfície Tkenv, es pot utilitzar la interfície Cmdenv que, al ser basada en consola, no proporciona una representació gràfica de la simulació sinó que tota la informació es mostra a l'usuari en traces de text. Les principals avantatges d'utilitzar la interfície Cmdenv són que permet executar les simulacions més de pressa que utilitzant Tkenv i que permet executar una seqüència de simulacions de forma automàtica.

6 SEQÜÈNCIA D'ESDEVENIMENTS

OMNeT++ disposa d'una opció per enregistrar tots els esdeveniments que es produeixen durant la simulació (en un fitxer amb extensió `e.log`). Per activar-la, cal modificar el fitxers `ini`.

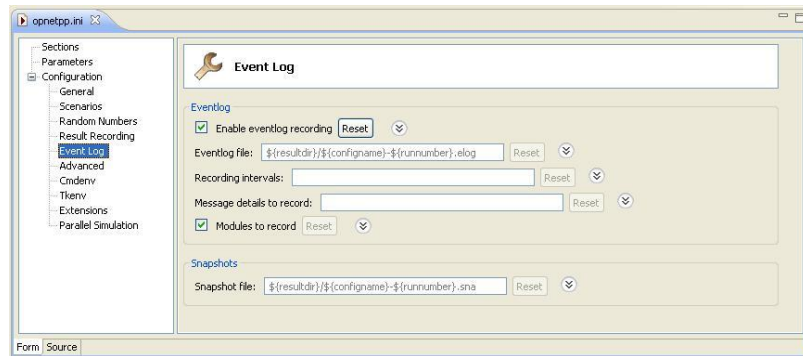


Figura 20. Activació de l'enregistrament d'esdeveniments

Fent doble clic sobre el fitxer es visualitza el contingut del fitxer d'esdeveniment en mode gràfic (mostrant la generació i intercanvi de missatges entre mòduls i dins un mateix mòdul) i en mode text.

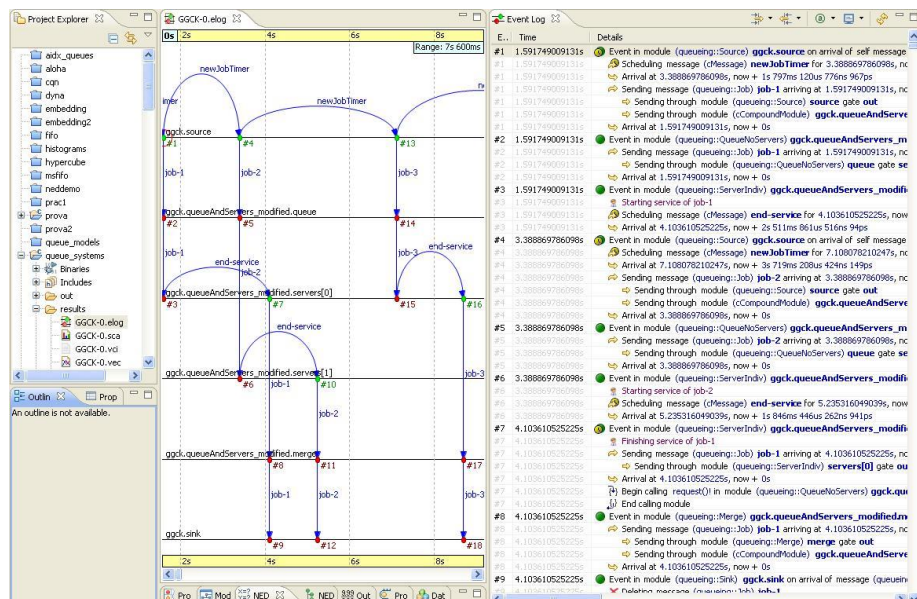


Figura 21. Contingut del fitxer d'esdeveniments

Cal tenir en compte que aquests fitxers poden tenir dimensions considerables i, per tant, l'opció d'enregistrar tots els esdeveniments cal activar-la només en cas que realment sigui necessari.

7 ANÀLISI DE RESULTATS

OMNeT++ permet calcular i guardar els resultats estadístics obtinguts durant el procés de simulació com a vectors, valors escalars o histogrames. Els fitxers que contenen els resultats estadístics són fitxers de text que es poden processar amb diferents eines per tal d'analitzar-ne el contingut. L'entorn de l'Eclipse té incorporada una eina d'anàlisi estadística dels resultats, simplificant així el procés de tractament i visualització de les dades. A més, es poden guardar les opcions de filtrat, tractament i visualització per a cada escenari (fitxers amb extensió `.anf`) agilitzant el tractament de les dades en noves simulacions. En definitiva, el que permet fer l'editor d'anàlisi de l'entorn és determinar quins fitxers utilitzar com a entrada, quines dades seleccionar d'aquests fitxers, quins passos de processat cal aplicar (opcionalment) i el tipus de gràfiques que es volen crear a partir d'aquestes dades.

Dins l'eclipse, a la carpeta results, feu doble clic al fitxer `GGCK-0.sca`. Us crearà un fitxer amb extensió `.anf`.

La primera pestanya de l'editor d'anàlisi permet especificar els fitxers de resultats que es volen fer servir com a entrada. En aquest exemple són tots els que comencen amb `GGCK-` i amb extensió `sca` (valors escalars) o `vec` (vectors). La segona pestanya mostra el contingut dels fitxers en taules i permet definir filtres per a la visualització de determinats resultats. Finalment, la tercera pestanya permet definir conjunts de dades sobre els que aplicar un tractament particular (si cal) i les gràfiques definides per a la representació d'aquelles dades.

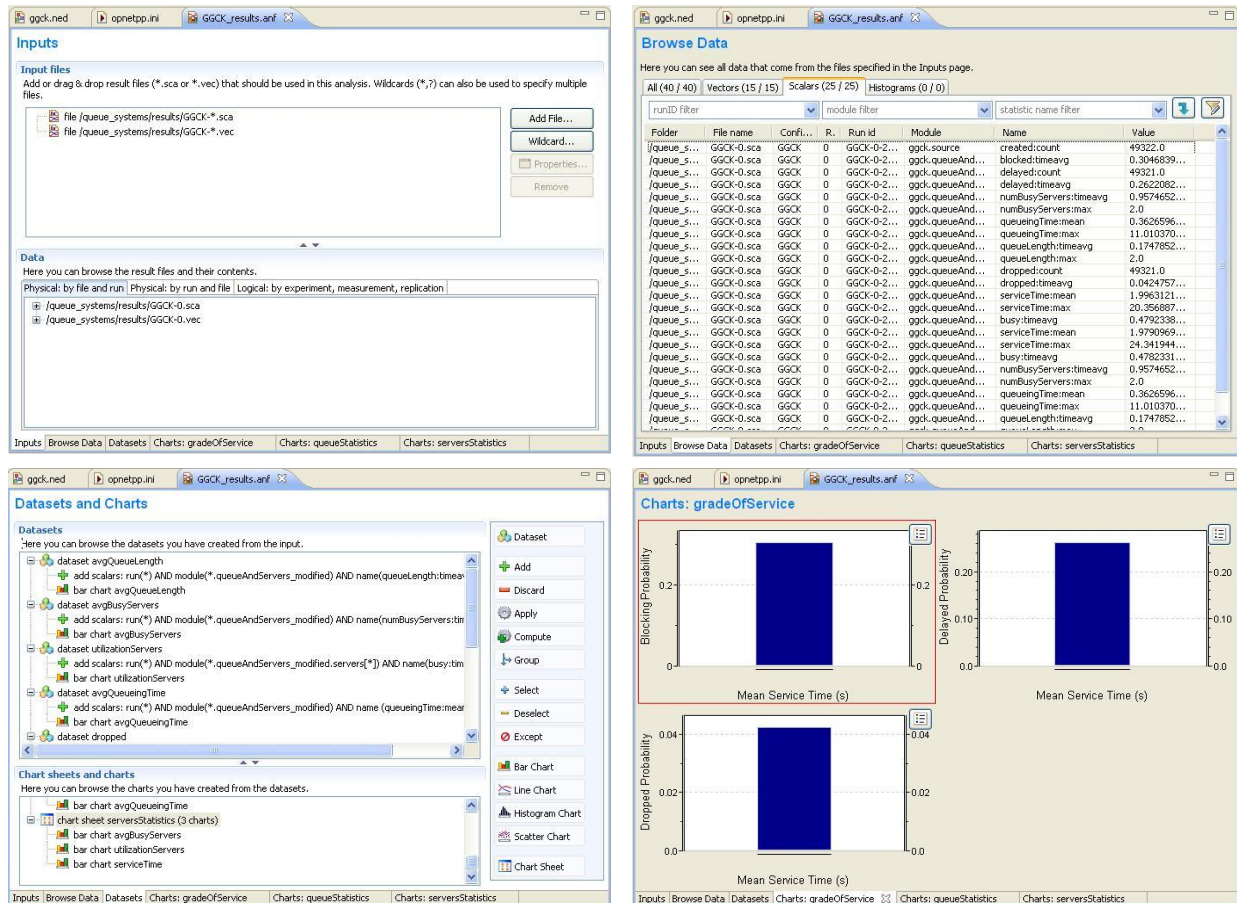


Figura 22. GGCK_results.anf (I)

8 CONCLUSIONS

Aquest document és un petit tutorial per familiaritzar-se amb el sistema G/G/C/K implementat al simulador OMNeT++ i començar a experimentar amb l'entorn de treball basat en l'Eclipse que proporciona el simulador.

La documentació completa sobre OMNeT++ (manuals d'usuari, tutorials, guies d'ús de l'entorn integrat de desenvolupament) estan disponibles a la pàgina <http://www.omnetpp.org/>.